



PCT

特許協定条約に基づいて公開された国際出願

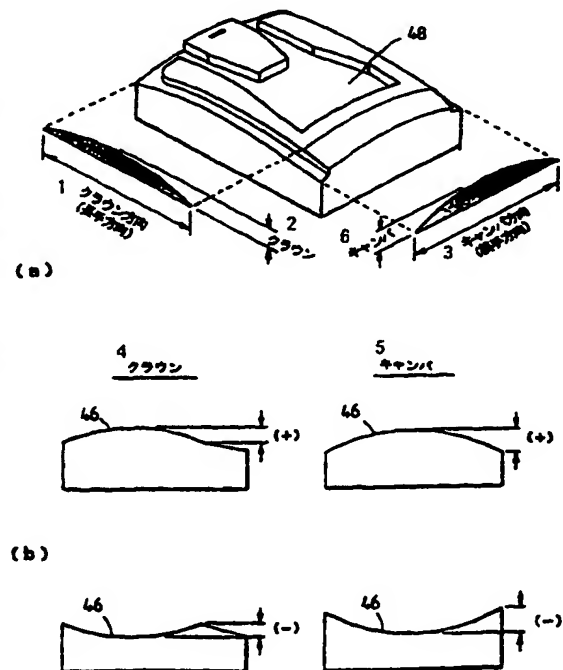
|  |           |   |
|--|-----------|---|
| <p>(51) 国際特許分類6<br/>G11B 21/21</p>   | <p>A1</p> | <p>(11) 国際公開番号 WO99/48098</p> <p>(43) 国際公開日 1999年9月23日 (23.09.99)</p>   |
| <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/01171</p> <p>(22) 国際出願日 1998年3月18日 (18.03.98)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)<br/>インターナショナル・ビジネス・マシーンス・<br/>コーポレーション (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES<br/>CORPORATION) [US/US]<br/>ニューヨーク州 10504、アーモンク New York, (US)</p> <p>(72) 発明者; および<br/>(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ)<br/>易幸代 (BABA, Sachiyo) [JP/JP]<br/>土田裕康 (TSUCHIDA, Hiroyasu) [JP/JP]<br/>太田俊一郎 (OTA, Shunichiro) [JP/JP]<br/>大澤豊三 (OHSAWA, Toyomi) [JP/JP]<br/>〒252-0811 神奈川県藤沢市桐原町1番地<br/>日本アイ・ビー・エム株式会社 藤沢事業所内 Kanagawa, (JP)</p> <p>(74) 代理人<br/>弁理士 坂口 博, 外 (SAKAGUCHI, Hiroshi et al.)<br/>〒242-8502 神奈川県大和市下鶴間1623番地14<br/>日本アイ・ビー・エム株式会社 大和事業所内 Kanagawa, (JP)</p> |           | <p>(81) 指定国 JP, US</p> <p>添付公開書類<br/>国際調査報告書</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">BEST AVAILABLE COPY</p> |

(54) Title: **NEGATIVE PRESSURE TYPE SLIDER FREE FROM TEMPERATURE CHANGE AFFECTING LEVITATION HEIGHT**

(54) 発明の名称 温度変化が浮上高さに影響しない負圧形スライダ

(57) Abstract

A method of designing a negative pressure type slider for controlling a floating height of a magnetic head (slider) levitation over a magnetic disk independently of temperature change in a magnetic disk storage device. This method comprises appropriately regulating a ratio of the crown response of a levitation height to the camber response of the levitation height in a negative pressure type slider levitating at a predetermined height over the surface of a rotating magnetic disk while the slider face opposes the disk surface so that the change of the levitation height due to the crown change of the slider resulting from the temperature change and the change of the levitation height resulting from the crown change of the slider can be substantially offset from each other. To accomplish this technical concept on a practical slider surface (air bearing surface), a ratio of the area (R) of a reverse step surface to the area (C) of the center rail is regulated to be within the range of 2:1 to 6:1 (particularly, 4:1 to 6:1 and more particularly, 5:1), and the substantial center of the occurring negative pressure is regulated to coincide with the center of the slider surface.



- 1 ... crown direction (longitudinal direction)  
2 ... crown  
3 ... camber direction (transverse direction)  
4 ... crown  
5, 6 ... camber

本発明は、磁気ディスク記憶装置において、磁気ディスク上を浮上する磁気ヘッド（スライダ）の浮上高さを制御することに関する。温度変化がスライダの浮上高さに影響しないようにした負圧形スライダの設計手法を提供することを技術的課題とする。解決方法の要点は、回転する磁気ディスク表面上に、スライダ面を対向させて所定の浮上高さをもって浮上する、負圧形スライダにおいて、浮上高さのクラウン感応性と、浮上高さのキャンバ感応性との比が、適当になるようにすることで、温度変化に伴って生じるスライダのクラウン変化による浮上高さ変化と、スライダのクラウン変化による浮上高さ変化と、が実質的に相殺されるようにする。実際のスライダ面（空気ベアリング面）においてこの技術的思想を実現するためには、リバースステップ面の面積（R）と、センタレールの面積（C）との面積比が、 $(R) : (C) = 2 : 1 \sim 6 : 1$ （中でも  $4 : 1 \sim 6 : 1$ ）の範囲内（特に  $5 : 1$ ）に設定されるようにし、発生する実質的な負圧の中心をスライダ面の中心に設定すればよい。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

|    |              |    |         |    |                |    |            |
|----|--------------|----|---------|----|----------------|----|------------|
| AE | アラブ首長国連邦     | DM | ドミニカ    | KZ | カザフスタン         | SD | スーダン       |
| AL | アルバニア        | DE | エストニア   | LC | セントルシア         | SE | スウェーデン     |
| AM | アルメニア        | EE | スペイン    | LI | リヒテンシュタイン      | SG | シンガポール     |
| AT | オーストリア       | FI | フィンランド  | LK | スリ・ランカ         | SI | スロヴェニア     |
| AU | オーストラリア      | FR | フランス    | LR | リベリア           | SK | スロヴァキア     |
| AZ | アゼルバイジャン     | GA | ガボン     | LS | レソト            | SL | シエラ・レオネ    |
| BA | ボスニア・ヘルツェゴビナ | GB | 英国      | LT | リトアニア          | SN | セネガル       |
| BB | バルバドス        | GD | グレナダ    | LU | ルクセンブルグ        | SZ | スワジランド     |
| BE | ベルギー         | GH | ガーナ     | LV | ラトヴィア          | TD | チャード       |
| BF | ブルキナ・ファソ     | GE | グルジア    | MC | モナコ            | TG | トーゴ        |
| BG | ブルガリア        | GN | ギニア     | MD | モルドヴァ          | TJ | タジキスタン     |
| BJ | ベナン          | GM | ギニア     | MG | マダガスカル         | TZ | タンザニア      |
| BR | ブラジル         | GN | ギニア・ビサウ | MK | マケドニア旧ユーゴスラヴィア | TM | トルクメニスタン   |
| BY | ベラルーシ        | GR | ギリシャ    |    | 共和国            | TR | トルコ        |
| CA | カナダ          | HR | クロアチア   | ML | マリ             | TT | トリニダード・トバゴ |
| CF | 中央アフリカ       | HU | ハンガリー   | MN | モンゴル           | UA | ウクライナ      |
| CG | コンゴ          | ID | インドネシア  | MR | モーリタニア         | UG | ウガンダ       |
| CH | スイス          | IE | アイルランド  | MW | マラウイ           | US | 米国         |
| CI | コートジボアール     | IL | イスラエル   | MX | メキシコ           | UZ | ウズベキスタン    |
| CM | カメルーン        | IN | インド     | NE | ニジェール          | VN | ヴェトナム      |
| CN | 中国           | IS | アイスランド  | NL | オランダ           | YU | ユーゴスラビア    |
| CR | コスタ・リカ       | IT | イタリア    | NO | ノルウェー          | ZA | 南アフリカ共和国   |
| CJ | キューバ         | JP | 日本      | NZ | ニュージーランド       | ZW | ジンバブエ      |
| CY | キプロス         | KE | ケニア     | PL | ポーランド          |    |            |
| CZ | チェッコ         | KG | キルギスタン  | PT | ポルトガル          |    |            |
| DE | ドイツ          | KP | 北朝鮮     | RO | ルーマニア          |    |            |
| DK | デンマーク        | KR | 韓国      | RU | ロシア            |    |            |

## 明 細 書

温度変化が浮上高さに影響しない負圧形スライダ

## 〔技術分野〕

- 5        この発明は、磁気ディスク記憶装置において、磁気ディスク上を浮上する磁気ヘッド（スライダ）の浮上高さを制御することに関連する。より具体的には、温度変化が浮上高さに影響しないようにした、負圧形スライダの設計手法に関連する。

## 〔背景技術〕

- 10        近年、磁気ディスク記憶装置の一つであるハード・ディスク・ドライブ（HDD）は高密度化されていることから、HDDが外部から高温環境にさらされてしまう機会は増えている。例えば、外部的要因としては、HDDが組み込まれる対象であるパーソナル・コンピュータ（ノート・パソコン及びデスクトップ・パソコン）自体も小型化（ダウンサイジング）  
15        されているとともに高機能化が進んでいることから、その単位体積あたりから発生される熱量は増える傾向にある。また、HDD自身からも動作に伴って内部から熱が発生するため、高密度化（パッケージの薄型化、ディスクの小直径化）または大容量化によって同様に、その単位体積あたりから発生される熱量は増える傾向にある。従って、これら  
20        外部的要因と内部的な要因とが重なり合って、HDDにとっては過酷な高温環境が強いられることになる。このような背景から、HDDには、高温環境下に置かれて使用されることを想定して、大きな温度変化に対応できる性能が求められるようになっている。

- 25        大きな温度変化の下で動作するときには、HDDの信頼性が問題となってくる。従って、まず最初に、本発明の対象として信頼性が絡んでくるHDD内部の構造と機能について概説することにし、その後に、これ

らの構造と機能とが温度変化とどのように係わっているかについて説明することにする。

図1 (a) 及び (b) に示すように、HDDの分野において周知の方法では、スピンドル軸の周りを矢印方向に回転している同心円状の磁気ディスク10の表面を横切るように、磁気ヘッド40を支持している片持ちばり(cantilever)機構20が、アクチュエータ機構30 (ヘッド位置決め機構(Positioner) とも呼ばれる) によって駆動される。ここでは、ピボット軸を中心にして駆動されるロータリ式アクチュエータ機構が示されている。このような機構の働きによって、磁気ディスクに対して読み取りや書き込みができるように、磁気ヘッド40が磁気ディスク表面上の所望の位置に位置付けられるようにされる。

図2に拡大して示すように、片持ちばり機構20の先端に、磁気ヘッド40は取り付けられている。ここでは1枚の磁気ディスクをその表裏から挟むために必要なセットのみを取り出して描いているが、1枚の磁気ディスクの表裏との両方に位置決めができるようにするためには、2つの片持ちばり機構20に対して、2つの磁気ヘッドが互いに反対向きに取り付けられる。記憶容量を向上させるために磁気ディスクを複数枚内蔵しているHDD (図1参照) の内部では、これら複数の片持ちばり機構20が複数枚の磁気ディスクに挟まれた間に、一度に入り込むことができるように積層状 (結果として櫛形状になる) にされている。本明細書においては、便宜上、この片持ちばり機構20又はこの積層状のものを、総括的に「サスペンション」と呼ぶことにする。

また、磁気ヘッド40とサスペンション20とが取り付けられた状態のものを「サスペンション・アセンブリ」と呼ぶこととする。さらに、これら磁気ヘッド40とサスペンション20とが取り付けられたものを駆動するアクチュエータ機構30までをも含むものを「アクチュエータ

機構アセンブリ」と呼ぶこととする。

本明細書における「磁気ヘッド」40とは、磁気ディスク表面上の所望の位置を磁化してデータの書き込みを行ない、その逆に、磁化された表面からデータの読み取りを行なう機構の総称である。かかる機能を果たすために、近年特に小型化された磁気ヘッド40においては、例えば、42の箇所において、書き込み用変換器（トランスデューサ）と読み取り用磁化手段とが別々に設けられているものがある。読み取り用磁化手段としては、磁気抵抗(MR: MagnetoResistive)効果を利用したものや、これよりさらに磁気抵抗変化の大きい巨大磁気抵抗(GMR: Giant Magnet o Resistive)効果を利用したものが実用化されている。

図3に示すように、磁気ヘッド40は、本明細書中では、「スライダ」40と等価なものであると定義する。磁気ヘッド40のうちでも磁気的な機能を直接的に果たす部分は、42の箇所における書き込み用変換器（トランスデューサ）および読み取り用磁化手段である。従って、これら42に相当する部分のみを別体の部品として扱うような特別な場合には、磁気ヘッドを他の部品と区別する意義があった。しかし、近年のようにスライダ自体の小型化が進んできて、書き込み用変換器（トランスデューサ）と読み取り用磁化手段とが、スライダ上の42の箇所における小さい範囲において、スライダと一体的に同時に作成されるようになってくると、もはやこれら部分を別体の部品として区別する意義はなくなっている。すなわち、本明細書における「スライダ」は、42の箇所において、書き込み用変換器（トランスデューサ）と読み取り用磁化手段とが含まれている場合を指すものとするが、本発明の技術的思想はこれらが含まれていない場合にも適用可能であるから、「スライダ」の意味は広く解釈されて然るべきである。

磁気ディスクが回転されている状態において、スライダが磁気ディス

ク表面に対向する「空気ベアリング面(sliding surface)」46には、回転によって誘起される空気流（ほぼ矢印の方向に沿って流れているが、詳細な方向は図9参照）によって空気ベアリングが形成されることになり、スライダは、図4に示すように、磁気ディスク表面から離れて浮上した状態にされる。このことによって、磁気ディスクの回転の際に磁気ディスク表面の凹凸に柔軟に追従することができるようにされ、高速なデータ転送速度が実現される。図示したスライダの直方体には立体（6面体）としての6面があるが、「空気ベアリング面」と呼ぶ面は、スライダが磁気ディスク表面に対向しているこの1面のみを指す。この空気ベアリング面こそが、本発明において対象とする、最も重要なスライダ構造である。

図4は、回転する磁気ディスク上をスライダが浮上している状態を示す図である。回転によって誘起される空気流は矢印の方向に沿って流れている。浮上というスライダの一機能を果たすために、スライダの「浮上高さ(FH: Flying Height)（浮上量、浮上すきま、とも呼ばれる）」hは、極めて重要となる。浮上高さが低すぎると、物理的に、磁気ディスク表面またはそこにある微小な凸部と接触する危険がある。そこで、浮上高さが十分に高くすれば接触の危険は減るものの、今度は、磁気ディスクとの間で磁氣的に十分な相互作用ができなくなることとなり、高密度のデータ記憶には適さなくなる。

HDDの高密度化に伴って、スライダの大きさについても小型化が進んでいる。基準となるスライダ（100%スライダとも呼ばれることもある）から、さらに小型のナノ(NANO)・スライダ（50%スライダとも呼ばれることもある）といわれる大きさのスライダまでについては、既に十分に普及している。現在、超小型のピコ(PICO)・スライダ（30%スライダとも呼ばれることもある）といわれる大きさのスライダまで

実用化は進んでいる。さらには、極超小型のフェムト(FEMTO)・スライダ(20%スライダとも呼ばれることもある)についての研究が進められており、近い将来には実用化されると考えられる。

5 磁気ディスクと磁気ヘッドとの間での磁気的な相互作用の一つとして、磁気ディスク表面にデータを重ね書き(OverWrite)する場合を考える。磁気ディスク表面には、以前に記録した情報の上に同じトラック幅で情報を重ね書きするため、スライダの浮上高さにより重ね書きの特性が変化する。すなわちスライダが高く浮上することにより磁気ディスク表面へのデータの書き込みが完全になされなくなり、再生出力が変動したり、  
10 データの消し残りが発生したりするからである。データの記録密度を高くしようとしてトラック幅を小さくすればするほど、「オフ・トラック(off track)」による重ね書きの問題が強調されるので、このような問題は重要となってくることが容易に理解される。このような小さいトラック幅に対して磁気ヘッドが安定に作用するという意味からも、所望の  
15 浮上高さはできるだけ一定に保たれることが重要である。

以上の問題は、磁気ディスクと磁気ヘッドとの間での別の磁気的な相互作用である、データを読み取る場合にもあてはまる。以前に記録した情報の上に同じトラック幅で情報を重ね書きした後に、さらに同じトラック幅で読み取りを行うからである。浮上高さが大きいと磁気ディスクから十分な大きさの出力を得ることができないことになる。また、再生  
20 信号の分解能(resolution)は、使用最高周波数における出力と使用最低周波数における出力の比で表されるが、この分解能を安定にするという意味からも、所望の浮上高さをできるだけ一定に保つということが重要である。

25 重ね書きと再生信号の分解能に影響するオフ・トラックのうちでも、温度の影響を受けているものを、特に「熱的(thermal)オフ・トラック」

と呼んでいる。本発明は、直接的には、回転する磁気ディスク表面上に設定されるべき浮上高さを制御することにアプローチするものである。本発明によって浮上高さを制御すれば、間接的に、熱的オフ・トラックを最小限に抑えることができることになる。

5       物理的な浮上高さそのものを測定するには、光学的な手法等があるが、浮上高さが低くなってくるとかなり難しい。従って、温度が変化した場合について、これらの重ね書き(OverWrite)の成功の程度や、再生信号の分解能(resolution)の安定の程度を、磁気ヘッドからフィードバックされる電気信号によって測定すれば、逆に、浮上高さの安定の度合いを  
10       推測できることになる。ただし、重ね書き(OverWrite)の安定の程度や、再生信号の分解能(resolution)の安定の程度は、その性質上(特に、図9のようなロータリ式アクチュエータを利用している場合において)、磁気ディスク上に磁気ヘッドが位置付けられる半径方向位置 $r$ において差が出やすいため、磁気ディスクのデータ記録範囲全体にわたって性能  
15       を評価することが妥当となる。

      以上のようなデータの書き込みと読み取りを特に問題とする場合には、得られてくる電気信号の意味からも、書き込み用変換器の位置や読み取り用磁化手段の位置(図3の42の位置)における浮上高さ $h$ が直接的な測定対象となってくる。これは磁気的な浮上高さとも呼ぶべきものである。一方において、衝突や接触といったことを重要な問題として扱う場合には、スライダと磁気ディスクとの間の物理的な最短距離が浮上高さとして問題となる。これは物理的な浮上高さとも呼ぶべきものである。磁気ディスクの表面にデータ記録には関係のないコーティングが所定の厚さで設けられている場合には、その厚さの分だけ、磁気的な浮  
20       上高さは物理的な浮上高さよりも大きくなる。すなわち、「浮上高さ」  
25       は、スライダのどの位置においてどこからどこまでの距離を問題とすべ



きかということが、ケース・バイ・ケースによって異なってくるが、本発明におけるスライダの「浮上高さ」は、本発明の技術的思想が適用できる範囲内において、十分に広い意味に解釈されるべきである。特に、

5 「浮上高さ」を「浮上高さの変化量」としてとらえる限りにおいて、磁気的な浮上高さと物理的な浮上高さとの違いは現われてこないことに留意されたい。

ところで、スライダは浮上された状態に置かれるという必然性から、流体力学的に様々な影響を受けることになる。図5に示されているように、スライダはその裏側のほぼ中心（2次元的にみると、空気ベアリング面の中心に相当する）において、サスペンション側のピボット点22

10 （取り付けられた状態は、図4に示す）において支持されている。このような点支持によって、スライダは、ピッチング(P: pitching)、ローリング(R: rolling)という運動によって、比較的自由的な浮上姿勢をとることができるようにされている。図5を通じて、各運動の方向が容易に

15 理解される。

浮上高さは、スライダが浮上している状態での迎え角（ピッチングの方向に現われる角）によっても微妙に変化する。スライダの流入端側に微小なテーパ（図11の右の部分断面図に $\alpha$ で示す角度）を設けた場合を考えよう。前のテーパ部分は空気の流入を大きく受けて浮き上がろうとするが、それとは反対に、ピボット点から後ろの部分はシーソーのよう

20 うに沈もうとする。

総じて、流体力学的な観点からスライダの浮上高さを律している支配的なものは、空気ベアリング面に発生する正圧（浮上力）である。一般に、磁気ディスクが速く回転すればするほど、この正圧は高くなる。一方で、サスペンションからは、片持ちばり構造にある負荷(load)ばねによる弾性力（たわみ量が増加するほどスライダを磁気ディスクに押しつ

25

ける力を大きくするもの)が発生するため、この弾性力と浮上力とがつりあった状態において、スライダの浮上高さ $h$ が決まることになる。このような原理は、図4の配置関係から容易に理解される。

5 以上説明してきたような構造は、スライダを用いる形式のHDDにほぼ共通するが、スライダの中には特に、空気ベアリング面に部分的に負圧を発生させるものがある。図6はこのようなスライダを示す図である。このスライダは、構造的には、空気ベアリング面内に形成した凹部である「リバースステップ面」48(図11も参照するとよい)において、発生する負圧力を同時に利用して、見かけ上軽負荷で、実効的には大きな空気膜剛性が得られるようにするというものである。このようなスライダは一般に「負圧形(NP: Negative Pressure)スライダ」と呼ばれる。この負圧形スライダを利用すれば、磁気ディスクの回転が低速のうちから浮上し、定常回転時の浮上安定性がよくなる。スライダと磁気ディスクが接触している時間が短いため、特に、いわゆるコンタクト・スタート・ストップ(CSS: Contact Start Stop)方式において高い信頼性が得られる。

20 磁気ディスクの最内半径方向位置と最外半径方向位置とでは、角速度 $\omega$ は同じであるが、周速度 $v (= r \omega)$ は半径方向位置 $r$ によって異なる(図9参照)。このような場合に、負圧形スライダを利用すれば、浮上高さは磁気ディスクの周速度によらずできるだけ一定とすることができる。例えば、周速度の増加によって正圧がある程度上昇してしまったとしてもその正圧の上昇分に見合うだけの負圧を発生させることによって、スライダ全体としての正圧量をうまく調整させることができるのである。負圧形スライダの利用は、このような意味からも、浮上高さの低い高密度記録用のスライダにとって好都合である。

25 図6(a)に示したように、スライダの空気ベアリング面すなわち空

気ベアリング面には、「クラウン(crown)」と「キャンバ(camber)」という形態的特徴が与えられているのが普通である。「クラウン」とは、スライダへの空気の流入方向または流出方向である長手(longitudinal)方向に設けられた凸状面(convex)の最大高さのことであり、「キャンバ」  
5 とはこの長手方向に直交する横手(lateral)方向または幅方向に設けられた凸状面の最大高さのことである。これらクラウンとキャンバという形態的特徴が設けられている主たる理由は、いわゆるコンタクト・スタート・ストップ方式において、スライダと磁気ディスクとの間での起動時(スタート時)の離陸または停止時(ストップ時)の着陸における粘着を防いで、繰り返しの接触(コンタクト)に耐えられるようにするためである。  
10

図6(b)にこれら「クラウン」と「キャンバ」の符号、すなわち、これら形態的特徴について、正(+)および負(-)を示す。ここでは、スライダの流入端側に微小なテーパ(図11の右の部分断面図に $\alpha$ で示す角度)が設けられている場合において、テーパの終了部を高さの基準  
15 にしている。テーパが設けられてない場合には、流入端を高さの基準にすればよい。

しかし、これらクラウンとキャンバという形態的特徴は、当然のように、空気の流れに大きな影響を与え、スライダ自身も空気の流れの変化の影響を受ける。このことは、飛行機の翼の断面の曲線形状が、飛行機の飛行特性(浮力など)に大きく係わってくることからも容易に想像が  
20 つく。

本明細書においては、説明の便宜上、クラウンが形成されている方向を「長手(longitudinal)方向」または「クラウン方向」と呼ぶこととし、  
25 キャンバが形成されている方向を「横手(lateral)方向」または「キャンバ方向」と呼ぶこととする。すなわち、「クラウン方向」や「キャン

バ方向」という用語が用いられる場合には、「クラウン」自体の凸形状や「キャンバ」自体の凸形状のことを指しているのではない、ということに十分注意されたい。

5 以上、本発明に絡んでくるHDD内部の構造と機能について概説してきた。次に、これらの構造と機能とに基づいて、スライダの浮上高さが温度変化によってどのように影響されるか、ということについて詳細に説明する。

10 温度が変化すると密閉体であるHDD内部の空気自体の粘性が変化するため、これによってスライダの浮上量が変化する。例えば、温度が上昇すると一般的に粘性は低くなるからである。しかし、HDDの設計において想定すべき温度（または温度変化量）の範囲では、粘性による浮上量の変化は微小なため、この変化は、クラウンやキャンバによる浮上量の変化に比べ小さい。

15 実は、スライダがサスペンションによって支持されているという構造自体に、温度の影響を受けてしまう要因がある。それは、材料の熱膨張率(thermal expansion coefficient)に起因するものである。図7によってこの原理を説明する。スライダ40と、スライダが取り付けられるサスペンション20とでは、通常、異なった熱膨張率をもつ材料が用いられることになる。従って、スライダとサスペンションとが同じ温度まで変化した場合、それらが接合または接着された時点における温度とは変わっている限り、周知であるバイメタル(bimetal)に類似した作用効果を通じて、スライダとサスペンションとが一体となって湾曲の度合を  
20 変えてしまうのである。

25 図7は、熱膨張率の違う材料の接合によって生じる（a）伸びの違い、（b）湾曲、および、（c）第3の材料を挟むことによる対応策、を示す斜視図である。バイメタル(bimetal)に類似した作用効果を通じて、

スライダとサスペンションとが一体となって湾曲の度合を変えてしまう理由は、熱膨張率が相対的に大きい材料と熱膨張率が相対的に小さい材料とが接合されていると、熱膨張率が相対的に大きい材料の方が伸びようとし、中立面を境界面として、熱膨張率が相対的に小さい材料の方が伸びを抑制されるからである。すなわち、図7 (a) に図示されているように、温度上昇によって上面（スライダ40）の伸び量と下面（サスペンション20）の伸び量とにおいて矢印のような差があると、図7 (b) のように湾曲を生じさせてしまう。このような湾曲は、クラウン及びキャンバの両方の変化を引き起こす。この湾曲は、図7 (b) に従う場合には、図6の場合を基準にするならば、クラウン及びキャンバを減少させる方向に作用している。湾曲の程度が空気ベアリング面全体に均等であって且つ空気ベアリング面においてクラウン方向の長さがキャンバ方向の長さよりも長い場合には、クラウンの変化の方がキャンバの変化よりも大きく現われる。

ここで対応策として、図7 (c) に示すように、スライダに用いられる材料20とサスペンションに用いられる材料40との間に、これらの中間の膨張率をもつ第3の材料を挟むことによって、湾曲の変化を円滑にすることも考えられる。しかし、湾曲自体を完全に抑えることは難しい。例えば、スライダとサスペンションとの接合には、通常、第3の材料である接着剤が用いられるため、接着剤の材質や塗布厚さを工夫するという余地がないでもない。しかし、このような対策も湾曲の変化を抑える根本的な解決になるとは言い難い。

このようなバイメタルに類似した作用による湾曲の変化は、立体的（空間的）に、スライダの空気ベアリング面のクラウンやキャンバを変化させてしまうのであるから、空気ベアリング面内の各位置と磁気ディスクとの相対距離を変化させてしまう。例えば、書き込み用変換器および

読み取り用磁化手段 4 2 の浮上高さの変化である。

5       しかし、湾曲の影響は、流体力学的なスライダの浮上特性の変化としてより大きく現われてくることに注意する必要がある。なぜならば、空気ベアリング面の形状変化が、空気の流れに大きな変化を与えてしまうからである。特に、負圧形スライダにおいては、空気ベアリング面に発生している正圧と負圧とのバランスをより大きく変えてしまうからであると考えられる。すなわち、スライダの浮上特性の変化が浮上高さを大きく変化させてしまい、重ね書きの特性変化に影響（劣化）してくるのである。

10       このような構造が温度変化による影響を無くすために、HDD内に温度変化そのものを避ける温度調節機構を内蔵することも想像できよう。しかし、小型化されたHDD内においてこのようなものを実現することはかなり難しい。従って、温度変化がスライダの浮上高さに影響している原理の本質を的確にとらえて対処していこうとすることが賢明な手法となる。

15       [図面の簡単な説明]

      図 1 は、周知であるHDDの内部構造を示した (a) 平面図、および (b) 斜視図、である。

20       図 2 は、片持ちばり機構であるサスペンションの先端に、磁気ヘッドを取り付けた態様を描いた斜視図である。

      図 3 は、スライダとその空気ベアリング面（空気ベアリング面）とを示す斜視図である。

25       図 4 は、回転する磁気ディスク上を、サスペンションによって点支持されたスライダが浮上している状態と、その浮上高さ  $h$  とを示す図である。

      図 5 は、スライダのピボット点支持の箇所と、浮上姿勢をとるための

運動である、ピッチング(P)、ローリング(R)を示す斜視図である。

図6のうち、図6(a)は、負圧形スライダを示した斜視図と、形態的特徴である「クラウン(crown)」および「キャンバ(camber)」と、長手方向および横手方向を説明する図である。図6(b)は、これら「クラウン」と「キャンバ」の符号、すなわち、各々の形態的特徴の正(+)または負(-)を示す断面図である。

図7は、熱膨張率の違う材料の接合によって生じる図7(a)伸びの違い、図7(b)湾曲、および、図7(c)第3の材料を挟むことによる対応策、を示す斜視図である。

図8は、図8(a)クラウンの温度変化と、図8(b)キャンバの温度変化と、を示すグラフである。

図9は、磁気ディスクにおいてデータが記憶されている範囲における、半径方向位置及びスキュー角 $\beta$ を示した平面図である。

図10は、浮上高さのクラウン感応性とキャンバ感応性との比が、図10(a)(1:4)であるA型スライダと図10(b)(9:1)であるB型スライダとのデータを比較するために、磁気ディスクの最内半径方向位置から最外半径方向位置までの範囲において、流体力学的に絶対浮上高さをシミュレーションした結果を示すグラフである。

図11は、本発明を利用した負圧形スライダの空気ベアリング面(空気ベアリング面)の構造を示す平面図である。

図12は、単位を $[\mu\text{m}]$ にして $[\mu\text{m}=10^3\text{nm}]$ に相当、図11の空気ベアリング面の構造の各寸法を寸法線に沿って記入した平面図である。

図13は、図10における同様のシミュレーションとして、図11および図12に示した空気ベアリング面をもつスライダについて、絶対浮上高さをシミュレーションした結果を示すグラフである。

図 1 4 は、通常の状態である 25℃を基準にして (a) 0℃の場合と (b) 60℃の場合との各々について、リバースステップ面の面積 (R) とセンターレールの面積 (C) との面積比 (R) / (C) を変化させた場合の、浮上高さの変化量を表すグラフを示す。

5      [発明の開示]

温度変化に対応させるための新しい考え方

図 8 は、(a) クラウンの温度変化と、(b) キャンバの温度変化と、を実験的に求めたグラフである。「クラウンの温度変化率」とは、温度変化量に対するクラウン (図 6 参照) の変化量のことである。これは前述のバイメタルに類似した作用効果によるものである。この次元は [クラウンの変化量 / 温度変化量] であり、単位は [nm(ナノメートル) / °C] として扱っている。「キャンバの温度変化率」とは、温度変化量に対するキャンバ (図 6 参照) の変化量のことである。これもまた、前述のバイメタルに類似した作用によるものである。これらの次元は [キャンバの変化量 / 温度変化量] であり、これらの単位は [nm(ナノメートル) / °C] として扱っている。

これらクラウンの温度変化率とキャンバの温度変化率とは、温度を変化させながら、測定されたクラウン又はキャンバの値をグラフにプロットしていけば、そのグラフの傾きから得られるものである。グラフにおいて、基本となるクラウンやキャンバが異なっている理由は、個体差である。しかし、このグラフから算出されるべきものは、[クラウンの変化量 / 温度変化量] または [キャンバの変化量 / 温度変化量] であって、直線の傾きとしてはほぼ同じであることが理解できる。

図 8 のグラフの実験結果から、(a) クラウンの温度変化率は、-0.372 [nm(ナノメートル) / °C] であり、(b) キャンバの温度変化率は、-0.173 [nm(ナノメートル) / °C] であると算定された。



次に、これらクラウンまたはキャンバの温度変化が、流体力学的なスライダの浮上特性の変化として、最終的にどのように現われてくるかということの評価することにする。すなわち、空気ベアリング面の形状変化が、空気の流れに変化を与えて、その最終結果として、浮上高さにどのように影響してくるかということの評価するのである。本発明においてはこの評価を行なうために「感応性(sensitivity)」という概念を導入する。次に2種類の感応性について説明する。

「浮上高さのクラウン感応性」とは、温度変化によるバイメタルに類似した効果等によってクラウン(図6参照)が変化することに伴う流体力学的な特性変化から、最終結果として、浮上高さが変化する程度のことをいう。磁気ディスクとの間の相対距離のみを想定すると、クラウンが増えると空間的(立体的)には浮上高さは減るように思われよう。しかし、実際には、流体力学的な特性変化の結果として、浮上高さは増える方向に現われてくる。

「浮上高さのキャンバ感応性」とは、温度変化によるバイメタルに類似した効果等によってキャンバ(図6参照)が変化することに伴う流体力学的な特性変化から、最終結果として、浮上高さが変化する程度のことをいう。キャンバが増えると、流体力学的な特性変化の結果として、浮上高さは減る方向に現われてくる。

これらの「感応性」の単位は、[浮上高さの変化/クラウンの変化量]または[浮上高さの変化/キャンバの変化量]であり、例えばこれらは[ $\text{nm}(\text{ナノメートル})/\text{nm}(\text{ナノメートル})$ ]として扱われる無次元量である。

どちらの感応性についても、空気ベアリング面におけるリバースステップ面の設定範囲に影響される。ここで「設定範囲」とは、与えられた空気ベアリング面を、2次元的にどのような大きさの領域にリバースステップ面を設定して利用するかという意味であって、結局において、リ

バースステップ面が配置される位置をも示す広い意味である。この設定範囲を適当に選ぶことによって、各々の感応性を、ついにはこれらの感応性の比を、調節して選択できるのである。設定範囲を変化させると、  
5 負圧形スライダにおいて負圧の発生状況（正圧と負圧のバランス）に変化が生じるからであると考えられる。

本発明においては、これらの2種類の感応性が、浮上高さとして増える方向と減る方向として、互いに逆に現われてくるという性質をうまく利用する。温度変化に伴って生じるスライダのクラウン変化による浮上高さ変化と、スライダのキャンバ変化による浮上高さ変化と、が実質的に相殺されるようにすることができれば、温度が変化しても浮上高さが変化しないようにすることができる。本願発明の新規な点は、かかる温度変化を巧みに考慮した設計手法にある。

ここで各パラメータを以下のように定義する。右下添字が付されると、その添字に係わるものであることが示されていることになる。扱っている単位を [ ] 内に表現している。

T : 温度変化率 (Temperature Change Rate)  
[nm(ナノメートル)/℃]

$\Delta t$  : 温度変化 (量) (通常の状態との温度差)  
(Temperature Change)  
[℃]

S : 感応性 (Sensitivity) [無次元量]

F : 浮上高さの変化量 (Flying Height Change)  
[nm(ナノメートル)]

C F : 相殺後の浮上高さ (浮上量) の変化量  
(Cancelled Flying Height Change)  
[nm(ナノメートル)]

P : アルミ突出の変化量 (Protrusion Change)  
[nm(ナノメートル)]

右下添字 w : クラウン (CROWN) [nm(ナノメートル)] に係わるもの

右下添字 m : キャンバ (CAMBER) [nm(ナノメートル)] に係わるもの

5 右下添字 p : アルミ突出 (PROTRUSION) [nm(ナノメートル)] に係わるもの

これらの表現に従って、本発明の設計手法を、以下に、式 (1) ~ (4) で表現してみる。

「クラウンの温度変化率」×「温度変化」

10 
$$\frac{Tw}{\Delta t}$$

×「浮上高さのクラウン感応性」

$Sw$

= 「クラウンに関する浮上高さの変化」 . . . . . 式 (1)

$Fw$

15

「キャンバの温度変化率」×「温度変化」

$Tm$   $\Delta t$

×「浮上高さのキャンバ感応性」

$Sm$

20 = 「キャンバに関する浮上高さの変化」 . . . . . 式 (2)

$Fm$

「クラウンに関する浮上高さの変化」

$Fw$

25 + 「キャンバに関する浮上高さの変化」

$Fm$

= 「相殺後の浮上高さの変化」 . . . . . 式 (3)

C F

「アルミ突出の温度変化率」 × 「温度変化」

5

T p

Δ t

= 「アルミ突出の変化」 . . . . . 式 (4)

P

ここで、TwとTmとが共に (－) の場合 (図8) を想定しよう。(

) 内の+は値が正であることを、－は値が負であることを示す。温度

10

上昇が生じるとΔ tが (+) として変化する。この場合、式 (1) によ

ってFwについては (－) に現われ、式 (2) によってFmについては

(+) に、式 (4) によってPについては (－) に現われてくる。従っ

て、Fwが (－) に現われ、Fmが (+) に現われるという符号の違い

が、式 (3) によって、FwとFmとの「実質的な相殺」を可能にして

15

いるのである。

ここでの「実質的な相殺」は、式 (3) によって完全に相殺させる (

C F = 0 にする) という狭い意味でとらえられるべきではなく、クラウ

ンに関する浮上高さ変化と、キャンバに関する浮上高さ変化とが、部分

的にでも相殺可能であるような場合も含む広い意味に解釈されるべきで

20

ある。すなわち、C Fの絶対値が、Fmの絶対値またはFwの絶対値の

いずれか大きい方の値に比較して小さくなっている限り、この「実質的

に相殺」に該当するものとして解釈されるべきである。

式 (4) の「アルミ突出」については、独立して説明することが適当

であると考えため、その原理については、後に詳しく説明する。「ア

25

ルミ突出の温度変化率」は、クラウンの温度変化率やキャンバの温度変

化率と同様の次元であり、本発明において用いたスライダの具体的な値

および単位は、 $0.080 \text{ [nm(ナノメートル)/℃]}$  である。

#### A型スライダとB型スライダとの比較

本発明の設計手法が、浮上高さを安定にさせる上で、実際に有効なものであるかどうかを実験によって検証することにした。それには、A型スライダ（1：4）とB型スライダ（9：1）という2つのタイプのスライダを用意して、実験してみることにした。ここでは、浮上高さのクラウン感応性と浮上高さのキャンバ感応性との比を（：）で表現している。感応性は、空気ベアリング面におけるリバースステップ面の設定範囲に影響されるから、空気ベアリング面内におけるリバースステップ面の範囲を2次元的に適当に設定することで、このような感応性の比をもつ2つのタイプのスライダが実現される。感応性の比が極端に異なっているこれら2つのタイプを比較することによって、浮上高さの変化が実質的に相殺されているかどうかを検証するのである。

A型スライダ（1：4）という感応性の比を実験に採用した理由を説明しておこう。図8グラフの実験結果から、クラウンの温度変化率 $T_w$ は、 $-0.372 \text{ [nm(ナノメートル)/℃]}$  であり、キャンバの温度変化率 $T_m$ は、 $-0.173 \text{ [nm(ナノメートル)/℃]}$  であると算定されている。これらは、式（1）または式（2）において、各々、浮上高さのクラウン感応性 $S_w$ または浮上高さのキャンバ感応性 $S_m$ と掛け算されることによって、クラウンに関する浮上高さの変化 $F_w$ またはキャンバに関する浮上高さの変化 $F_m$ を算出するようにしている。相殺後の浮上高さの変化 $C_F$ をできるだけ少なくするのが狙いであるから、 $F_w$ と $F_m$ とをできるだけ同じような絶対値に設定することが望ましい。このためには、 $T_w/T_m = 2.15$  であることを考慮して、 $S_w/S_m = 1/2.15$  とすればよいことが分かる。すなわち、ここまでの理論だけから最適な感応比を導くと、（1：2.15）が最適ということになるであろう。

しかし、この実験の場合には、「アルミ突出」の温度変化率  $T_p = 0.080$  [nm(ナノメートル)/℃] を考慮に入れて最適な感応比を導いた。この  $T_p$  を考慮に入れると、 $T_w / (T_m + T_p) = 4$  となり、 $S_w / S_m = 1/4$  となる。従って、(1 : 4) という感応比のスライダを用意したのである。ただしここで注意されたいことは、スライダに用いられる材料によっては、このアルミ突出が生じることがなく、考慮に入れる必要がない場合もあるということである。従って、本発明の技術的思想を広くとらえるためには、温度によって変化する要素としてのアルミ突出は、クラウンやキャンバに係わるものとは独立して考えられるべきものである。

「アルミ突出」を考慮した場合、次のように定義されるパラメータ、

A : 実際の浮上高さの変化量

(Actual Flying Height Change)

[nm(ナノメートル)]

は、式(2) ~ (4) との関係から、次の式(5) によって算出されることになる。

「クラウンに関する浮上高さの変化」

$F_w$

+ 「キャンバに関する浮上高さの変化」

$F_m$

+ 「アルミ突出の変化」

P

= 「相殺後の浮上高さの変化」 + 「アルミ突出の変化」

C F

P

= 「実際の浮上高さの変化」 . . . . . 式(5)

A

これらA型スライダとB型スライダの実際の検証は、ロータリ式アクチュエータを利用して、磁気ディスクにおいて実際にデータが記憶される範囲である最内半径方向位置から最外半径方向位置までの範囲において、重ね書き(OverWrite)の安定性と、再生信号の分解能(resolution)の安定性について実験することによってなされた。図9は、検証に用いた磁気ディスクにおいて、データが記憶されている角度範囲を示している。ここで「スキュー角」 $\beta$ とは、磁気ディスクの円周の接線方向とスライダの長手方向とがなす鋭角(小さい方の角)である。スキュー角 $\beta$ が0度になると、円周の接線方向とスライダの長手方向とが一致する。

磁気ヘッドを支持している片持ちばり(cantilever)機構20は、ロータリ式アクチュエータを採用する場合には、アクチュエータ機構30によってピボット軸を中心にして駆動されるため、最内半径方向位置から最外半径方向位置までの全ての範囲においてスキュー角をゼロにすることは不可能である。空気の流れの方向は、円周の接線方向とほぼ一致しているが、磁気ディスクの回転による遠心力他の要因があるために、円周の接線方向と完全には一致しない。

以上の実験による検証の結果、最内半径方向位置から最外半径方向位置までの範囲内において、B型スライダよりもA型スライダの方が、重ね書き(OverWrite)の安定性と、再生信号の分解能(resolution)の安定性との両面において、良好であることがわかった。別言すれば、A型スライダの方がB型スライダよりも、最内半径方向位置から最外半径方向位置までの範囲内において、浮上高さの変動が少ないことが検証されたことになる。

次に、図10には(a)A型スライダと(b)B型スライダとの浮上高さを、各々シミュレーションした結果を示す。ここでの浮上高さは、流体力学的にシミュレートされたものである。すなわち、流体力学によ

る解析から得られる、磁気ディスク表面とスライダ表面との間の距離を問題としていることに注意されたい。すなわち、ここでの浮上高さは浮上高さを変化量としてとらえているのではなく、絶対的浮上高さとしてとらえていることに注意されたい。図13についても同様である。ここで図10と図13についてのみ、浮上高さの単位は「マイクロインチ：1マイクロインチは25.4nm（ナノメートル）に相当する」であることに注意されたい。ここでも、磁気ディスクの最内半径方向位置から最外半径方向位置までの範囲が網羅されるようにシミュレーションしている。

■（黒四角）は通常の状態の温度である25℃における浮上高さを表しており、●（黒丸）は0℃における浮上高さを、▲（黒三角）は60℃における浮上高さを、各々表している。通常の状態の温度である25℃は、図7において説明したスライダ40とサスペンション20との接合時の温度である。図10において注意されたいのは、浮上高さそのものの絶対値が高いか低いかを評価すべきなのではないことに注意されたい。浮上高さをどのくらいに設定するかは設計事項だからである。すなわち、本発明の正当性は、●（黒丸）と▲（黒三角）との振れ幅（温度変化による変動量）が小さい方が好ましいということで評価されるべきである。さらには、■（黒四角）を基準にした場合には、■（黒四角）と●（黒丸）との差が小さい方が低温変化（温度下降）に対して有効であることを意味し、■（黒四角）と▲（黒三角）との差が小さい方が高温変化（温度上昇）に対して有効であることを意味することになる。総じて、（b）B型スライダよりも（a）A型スライダの方が、温度変化に対して浮上高さの変動が少ないことが実証されていることに注目されたい。

〔発明を実施するための最良の形態〕



スライダ構造（特に、空気ベアリング面）

次に、実際のスライダ構造（特に、空気ベアリング面）において、本発明の技術的思想がどのように具体化されるかを示す。

図 11 は、本発明において利用した負圧形スライダの空気ベアリング面を示す図である。この図に沿って、スライダ構造の名称を説明する。

「流入縁」80 とは、回転する磁気ディスク表面上に、空気ベアリング面を対向させて所定の浮上高さをもって浮上した場合に、長手方向から空気が流入してくる縁または端のことである。ただし、空気の流入方向は、スキュー角（図 9 参照）などによって変化するため、スキュー角が 0 度である場合以外は、長手方向と一致しないことに留意されたい。

「流出縁」82 とは、回転する磁気ディスク表面上に、空気ベアリング面を対向させて所定の浮上高さをもって浮上した場合に、長手方向へ空気が流出していく縁または端のことである。

「流入縁側」または「流入縁方向」とは、例えば、スライダ中心 84 から横手方向に延びた線 86 を基準としてとらえた場合には、流入縁に近い側または流入縁へ向かう長手方向である 88 のことである。線 86 を基準にしたのは一例にすぎず、空気ベアリング面を完全な半分に区分けしているわけではない。

「流出縁側」または「流入縁方向」とは、例えば、スライダ中心 84 から横手方向に延びた線 86 を基準としてとらえた場合には、流出縁に近い側または流出縁へ向かう長手方向である 90 のことである。線 86 を基準にしたのは一例にすぎず、空気ベアリング面を完全な半分に区分けしているわけではない。

以下に説明する「複数のレール(rails)」は、以下のような部位に分かれる。

「サイドレール」91（右）および 92（左）は、両側で正圧を受け

て左右のバランスを保つように、一対のものとして表れる。ここでは、  
図 9 におけるスキュー角他の影響が考慮されて、完全な左右対称形とは  
なっていない。また、これら一対のサイドレールは、一定の迎え角のあ  
る状態でローリング（図 5）したとしても接触しないようにするために、  
5 流出縁まで届かなくても「流出縁近傍」9 3 まで延ばされていれば十分  
である。なお、「両方のサイドレール 9 1、9 2 の側縁の外側には溝（  
段差）」が設けられているが、これらは、スライダを横手方向に連続し  
て作成する場合に必要となる製造プロセスにおけるあそびであって、製  
造誤差によって切断される箇所がサイドレールにかかってサイドレール  
10 の面積が変化し、スライダの特性に大きな個体差が生じないようにする  
ための配慮である。

「クロスレール」9 4 とは、負圧を発生させるために流入縁側におい  
て流れをせき止めるためのものである。負圧形スライダによく用いられ  
る一形式である。流入縁からの「テーパ」9 5（右の部分側面図も参照）  
15 を設けることもでき、このテーパは迎え角を調整するためにも用いられ  
る。微妙なテーパが設けられることによって、流入縁のクラッシュ防止  
や迎え角の調整がされる。

「センターレール」9 6 には、（流出縁近傍 9 3 に）書き込み用変換  
器（トランスデューサ）及び読み取り用磁化手段磁気変換器 4 2 が取り  
20 付けられており、これは全体に正圧を受けるレールである。他のレール  
から独立しているため、アイランド(island)と呼ばれることもある。流  
出縁から連続していて流入縁側へ向かって長手方向（クラウン方向）に  
延びて、前縁 9 7 が形成されている。流出縁 8 2 から連続して形成され  
る主な理由は、磁気ヘッドを流出縁近傍に取り付けるためである。前縁  
25 9 7 は尖った形状であってもよい。また、前縁 9 7 を基準として、流出  
縁または流入縁に沿った横手方向に平行に両方のサイドレールまで仮想

境界線 9 8 を想定することができる。この仮想境界線 9 8 は、後に、面積の算出に用いる。

これら「レール」ではない他の（残りの）空気ベアリング面は、実質的に同一な深さに形成される。実質的に同一（面一）な面を形成している「レール」に対して、共通な深さの凹部または溝（段差）が設けられている。ここで「レール」の段差のできる縁を「側縁」と呼ぶことにする。ただし、既に述べたように、センターレールの前縁 9 7 のみについては、特別な名称付けをしている。

スライダを形成している大部分の「材料」は、炭化チタン (TiC) とアルミナ ( $Al_2O_3$ ) とのセラミック混合化合物 ( $Al_2O_3TiC$ ) である。しかし、流出縁から長手方向に  $42\ \mu m$  までの範囲（流出縁近傍 9 3 のさらに一部分）については、書き込み用変換器（トランスデューサ）と読み取り用磁化手段との取り付けを実現するために、その一部分の材料はアルミナ ( $Al_2O_3$ ) から成っており、温度上昇に伴ってその一部分が突出することがある。

ここで「アルミ突出」の原理を説明する。「アルミ突出 (Al Protrusion)」とは、温度上昇に伴うアルミ合金材料の膨張によって、書き込み用変換器（トランスデューサ）または読み取り用磁化手段を取り付けている箇所が、紙面手前側（図 1 1 又は図 1 2）に突出してくる現象をいう。一般に、温度上昇の場合に突出し、温度下降の場合には引っ込む。突出した場合には、その突出箇所と磁気ディスクとの相対距離が近づくことになり、浮上高さが低くなるのである。ここでは、クラウンの変化やキャンバ変化の場合のように流体力学的な意味でのスライダの浮上特性にはあまり変化がないことに注意されたい。すなわち、ここでは感応性の概念を導入する必要はない。ちなみに、書き込み用変換器（トランスデューサ）と読み取り用磁化手段との距離は、浮上高さを測る位置の

違いとして問題にするほどには離れていない。

#### 負圧形スライダの具体的な外径寸法

スライダの外形寸法については、現在、超小型のピコ(PICO)・スライダ（業界では、30%スライダとも呼ばれることがある）といわれる大きさのスライダまでの実用化が進んでいる。参考に、本発明において実験に採用しているピコ・スライダの外形寸法の一例を示すと、 $1.25 \times 1.0 \times 0.3 (\text{mm}^3)$ である。図12には、単位を $[\mu\text{m}]$ （ $[\mu\text{m} = 10^3 \text{nm}]$ に相当）にして、空気ベアリング面の寸法が表示してある。寸法は寸法線に沿ってのみ記入するようにしてあるため、これらの寸法を明細書の説明に用いている符号と混同することはない。

紙面奥行き方向に相当する寸法としては、既に説明したように、面一面を形成している「レール」に共通な凹部または溝（段差）の深さがある。参考に、本発明において実験に採用しているピコ・スライダにおけるこの寸法は、センタレールと一对のサイドレールとの間に挟まれた箇所については $5.25 \mu\text{m}$ に設定され、それ以外の残りの箇所については $5.70 \mu\text{m}$ に設定されている。

#### 図12に示した空気ベアリング面をもつスライダの評価

図13は、図12に示した空気ベアリング面をもつスライダ（1：5）について、浮上高さを流体力学的にシミュレーションした結果を示すグラフである。図10におけると同様の評価法である。その結果、図10（a）のA型スライダ（1：4）よりも良好な評価が得られた。

#### 空気ベアリング面における面積の算出

本発明の技術的思想を空気ベアリング面において具現化するにあたって重要となる、面積の算出方法について、先に説明しておく。

「リバースステップ面の面積（R）」とは、空気ベアリング面内に設定されたリバースステップ面の範囲である。これは、クロスレールの側

縁の内側、センターレールの側縁の内側、及び、センターレールの前縁から横手方向に延びるような仮想境界線（図11の98）、に囲まれた範囲の面積のことである。この囲まれた範囲内において実質的な負圧が発生されることになる。実質的に負圧を発生させるという意味は、この範囲において負圧形スライダの機能にとって必要となる負圧を発生させることが可能であるならば、範囲内の一部において負圧を発生しない部分があってもよいという広い意味に解釈されるべきである。ただし、実質的な負圧の中心が空気ベアリング面の中心にほぼ一致するように設定されるようにする必要があることは分かっている。ただし、「発生される実質的な負圧の中心が空気ベアリング面の中心に設定される」という意味は、完全な中心同士の一致を意味するのではなく、負圧形スライダとしての機能を果たし且つ本発明の技術的思想が具現化できる限り、その中心同士の一致のずれは広く許容されて解釈されるべきである。

「センターレールの面積（C）」とは、センターレールを形成している部分の面積である。このレールは、アイランド部として他のレールとは独立しているため、その範囲を画定することは用意である。

図11における範囲と、図12における実際の寸法とを考え併せてみれば、（R）と（C）の実面積算出は容易である。図11のスライダでの、リバースステップ面の面積（R）とセンターレールの面積（C）との面積比は、5（この表現も（5）/（1）の省略形であり、分母の（1）を省略している）である。なお、このスライダには、 $\alpha = 0.01$  radian（90度を直角とした場合には、約0.57度）の微小なテーパがついている。

浮上高さのクラウン感応性／浮上高さのキャンバ感応性と（R）／（C）の面積比との関係

本発明の技術的思想を具体化する実験を通じて、既に設計手法として説明した浮上高さのクラウン感応性／浮上高さのキャンバ感応性と、（

R) / (C) の面積比との間には、ほぼ相関があることを経験的に見いだした。A型スライダ (1 : 4) とB型スライダ (9 : 1) の設計においても、この相関があることに着目して考慮している。

5 図14は、(R) / (C) の面積比を変化させた場合の、浮上高さの変化量を示すグラフである。通常の状態である25℃を基準にして、図14(a)は0℃における相関を示していて、図14(b)は60℃における相関を示している。ここでは、(R) / (C) の面積比が4~6 (この表現も(4)/(1)~(6)/(1)の省略形であり、分母の(1)を省略している) の範囲内において、特に浮上高さの変化量を低く抑えることができるというデータを得ている。もっとも、(R) / (C) の面積比が2~4の範囲までをあたってみても、良好なデータが得られている。また、その範囲の内でも特に面積比が5である場合において、浮上高さを最小に抑えることができるというデータを得ている。すなわち、センターレール10の面積(C)と、リバースステップ面の面積(R)との面積比が、15 1 : 4 ~ 1 : 6 の範囲内に設定されるということを通じて、本発明の技術的思想が有効に具現化されることが実証されているものである。

アルミ突出の量についても、この面積比とは独立に求められるものである。しかし、キャンバに関する浮上高さの変化分を、アルミ突出量を予め考慮してその変化分の中に組み入れることによって、面積比の中に20 において間接的に考慮することができる。

## 請求の範囲

5 1. 回転する磁気ディスク表面上に、空気ベアリング面を対向させて  
所望の浮上高さをもって浮上する、負圧形スライダであって、

負圧を発生させるためのリバースステップ面の設定範囲は、空気ベア  
リング面の中心を含むとともに、温度変化に伴なって生じる空気ベア  
リング面のクラウン変化による浮上高さ変化と温度変化に伴なって生じる  
空気ベアリング面のキャンバ変化による浮上高さ変化とが実質的に相殺  
10 されるように、リバースステップ面の設定範囲に影響される浮上高さの  
クラウン感応性とリバースステップ面の設定範囲に影響される浮上高さ  
のキャンバ感応性との比によって設定されることを特徴とする、  
負圧形スライダ。

15 2. リバースステップ面の設定範囲に影響される浮上高さのクラウン  
感応性とリバースステップ面の設定範囲に影響される浮上高さのキャン  
バ感応性との比を設定するにあたって、

温度変化に伴なって生じる空気ベアリング面のアルミ突出の量の変化  
を考慮に入れて、温度変化に伴なって生じる空気ベアリング面のクラウ  
ン変化による浮上高さ変化と温度変化に伴なって生じる空気ベアリング  
20 面のキャンバ変化による浮上高さ変化とが、より実質的に相殺されるよ  
うにすることを特徴とする、

請求項1記載の負圧形スライダ。

3. 前記クラウン感応性と前記キャンバ感応性との比が、1 : 4に設  
定されていることを特徴とする、

25 請求項2記載の負圧形スライダ。

4. 回転する磁気ディスク表面上に、空気ベアリング面を対向させて

所望の浮上高さをもって浮上する、負圧形スライダであって、

空気ベアリング面において、

流入縁側から少なくとも流出縁の近傍にまで長手方向（クラウン方向）に延びる、一対のサイドレールと、

- 5        当該一対のサイドレールを流入縁側において相互に接続するように横手方向（キャンパ方向）に延びる、クロスレールと、

前記一対のサイドレール又は前記クロスレールとは接続されることなく、流出縁から流入縁側へと長手方向（クラウン方向）に延びて前縁が形成される、センターレールと、

- 10       クロスレールの横手方向の側縁の内側、センターレールの長手方向の側縁の内側、及び、センターレールの前縁から前記一対のサイドレールの両方にまで横手方向に延びる仮想境界線、に囲まれていて、発生される実質的な負圧の中心が空気ベアリング面の中心に設定された、リバー  
スステップ面とを有していて、

- 15       前記センターレールの面積（C）と、前記リバーステップ面の面積（R）との面積比が、1：2～1：6の範囲内に設定されることを特徴とする、

負圧形スライダ。

5.    前記センターレールの面積（C）と、リバーステップ面の面積  
20       （R）との面積比が、1：4～1：6の範囲内に設定されることを特徴とする、

請求項4記載の負圧形スライダ。

6.    前記クロスレールの流入端から始まり、前記クロスレールの空気ベアリング面において終端するように、テーパが設けられていて、

- 25       前記センターレールの面積（C）と、リバーステップ面の面積（R）との面積比が、ほぼ1：5に設定されることを特徴とする、



請求項 4 記載の負圧形スライダ。

7. 請求項 1 ～ 6 の何れかに記載の負圧形スライダと、

当該磁気ディスクの表面を横切ることができるように、前記負圧形スライダを支持するサスペンションとを有する、

5 サスペンション・アセンブリ。

8. 請求項 1 ～ 6 の何れかに記載の負圧形スライダと、

当該磁気ディスクの表面を横切ることができるように、前記負圧形スライダを支持するサスペンションと、

10 当該サスペンションを駆動して、前記負圧形スライダを前記磁気ディスク表面上の所望の位置に位置付けるための、アクチュエータ機構とを有する、

アクチュエータ機構アセンブリ。

9. 請求項 1 ～ 6 の何れかに記載の負圧形スライダと、

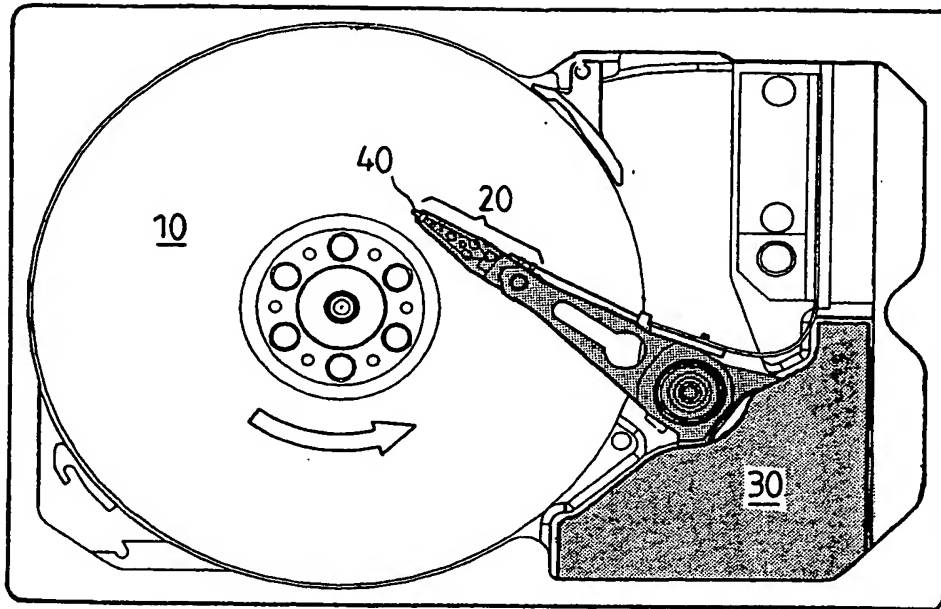
少なくとも 1 枚の磁気ディスクと、

15 当該磁気ディスクの表面を横切ることができるように、前記負圧形スライダを支持するサスペンションと、

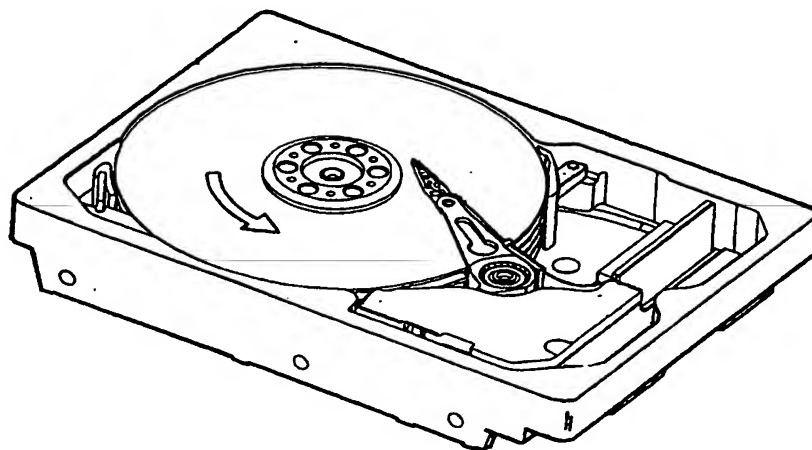
当該サスペンションを駆動して、前記負圧形スライダを前記磁気ディスク表面上の所望の位置に位置付けるための、アクチュエータ機構とを有する、

20 ハード・ディスク・ドライブ。

1 / 1 2



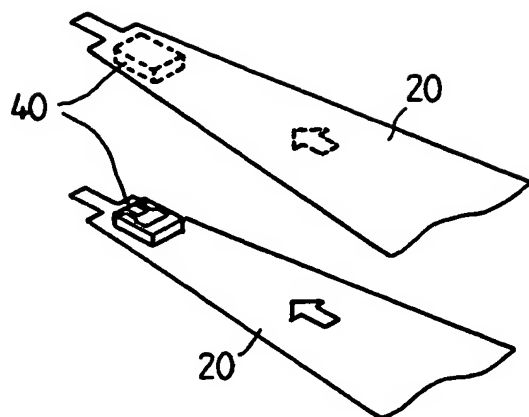
(a)



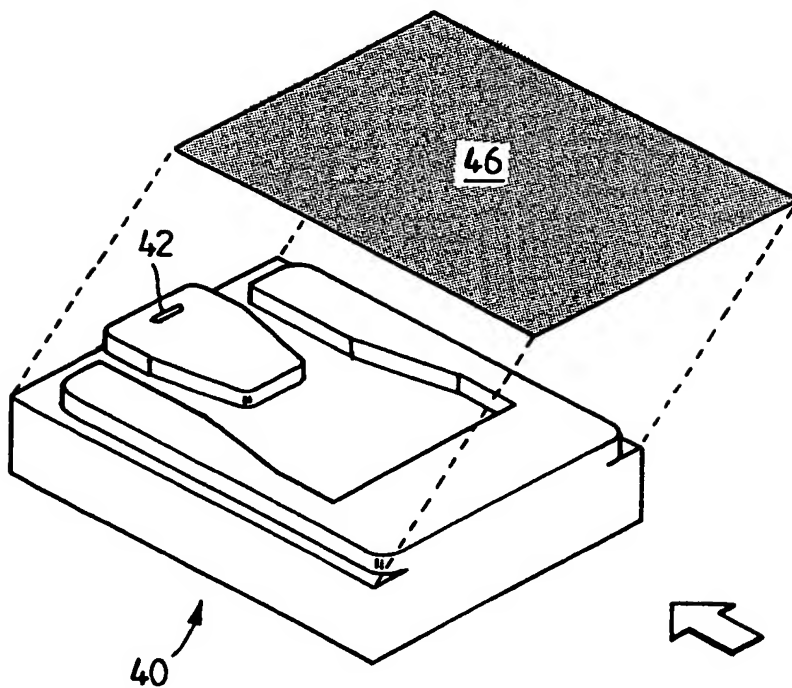
(b)

FIG. 1

2 / 1 2



F I G. 2



F I G. 3

3 / 1 2

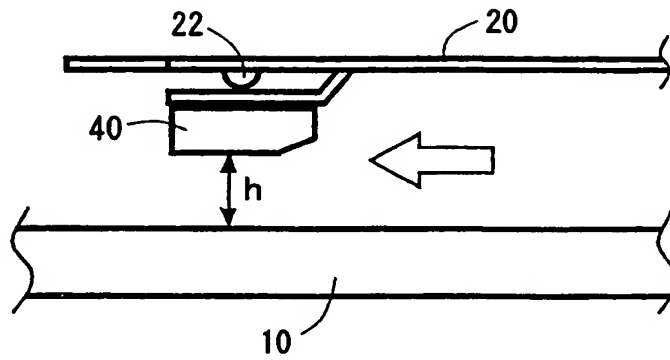


FIG. 4

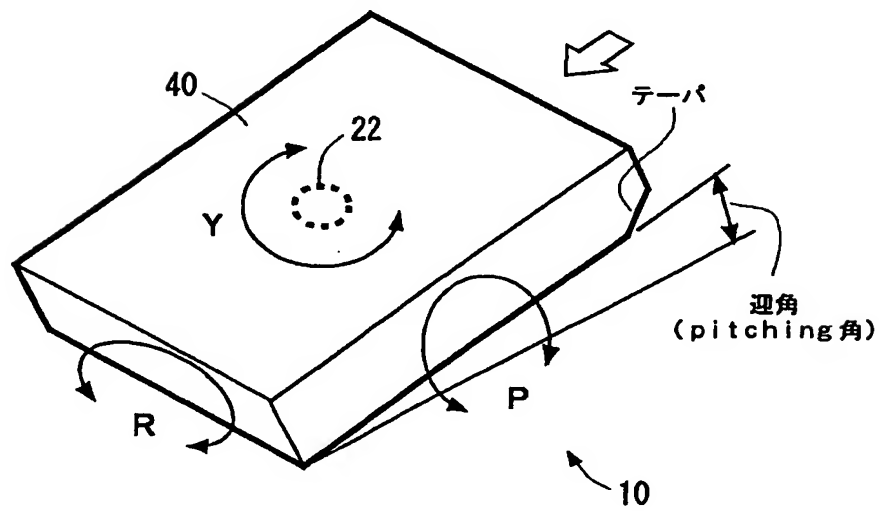


FIG. 5

4 / 1 2

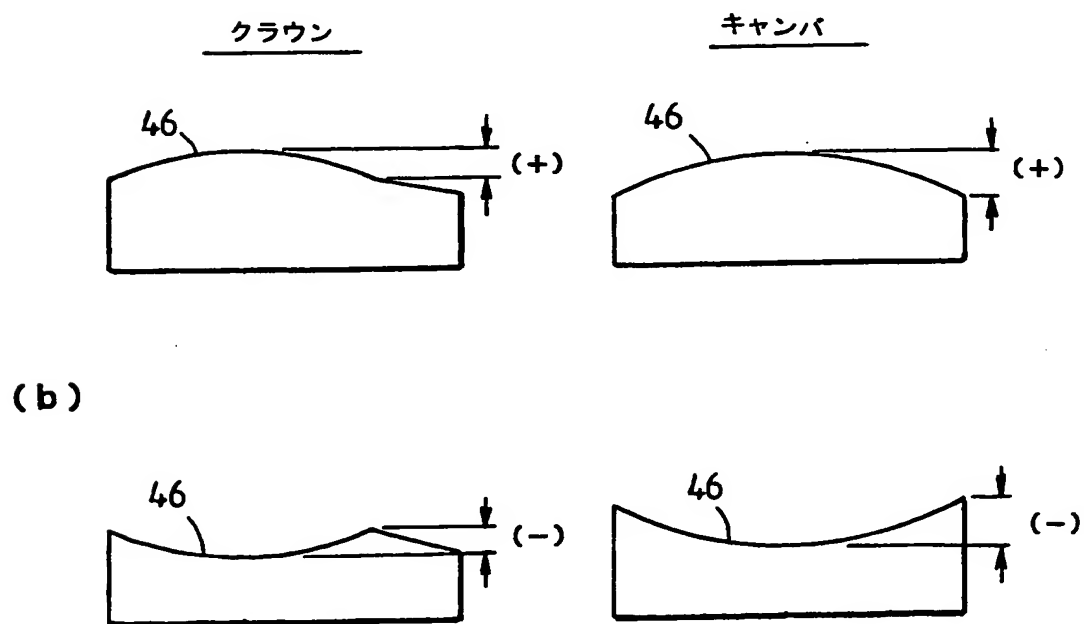
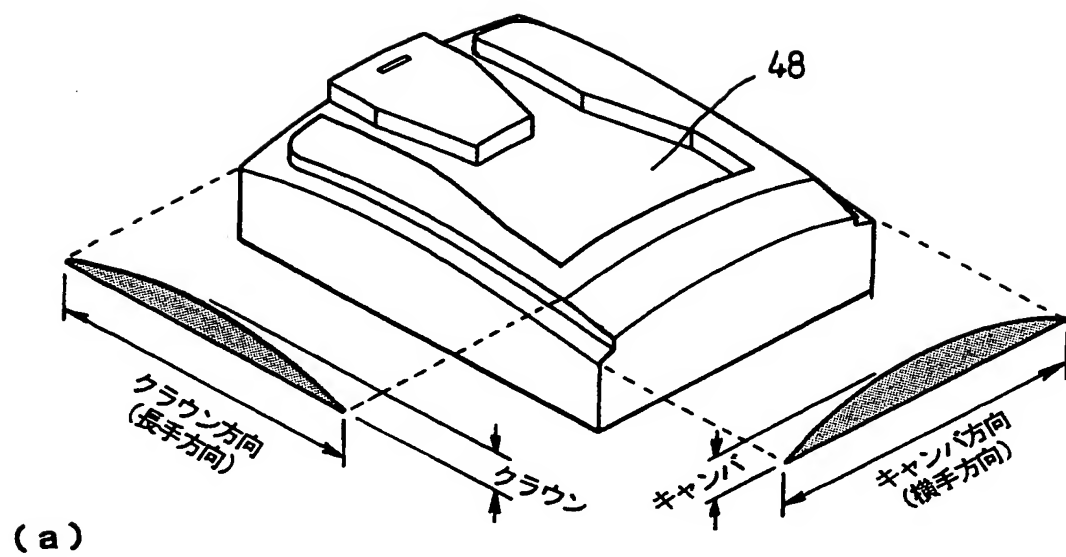
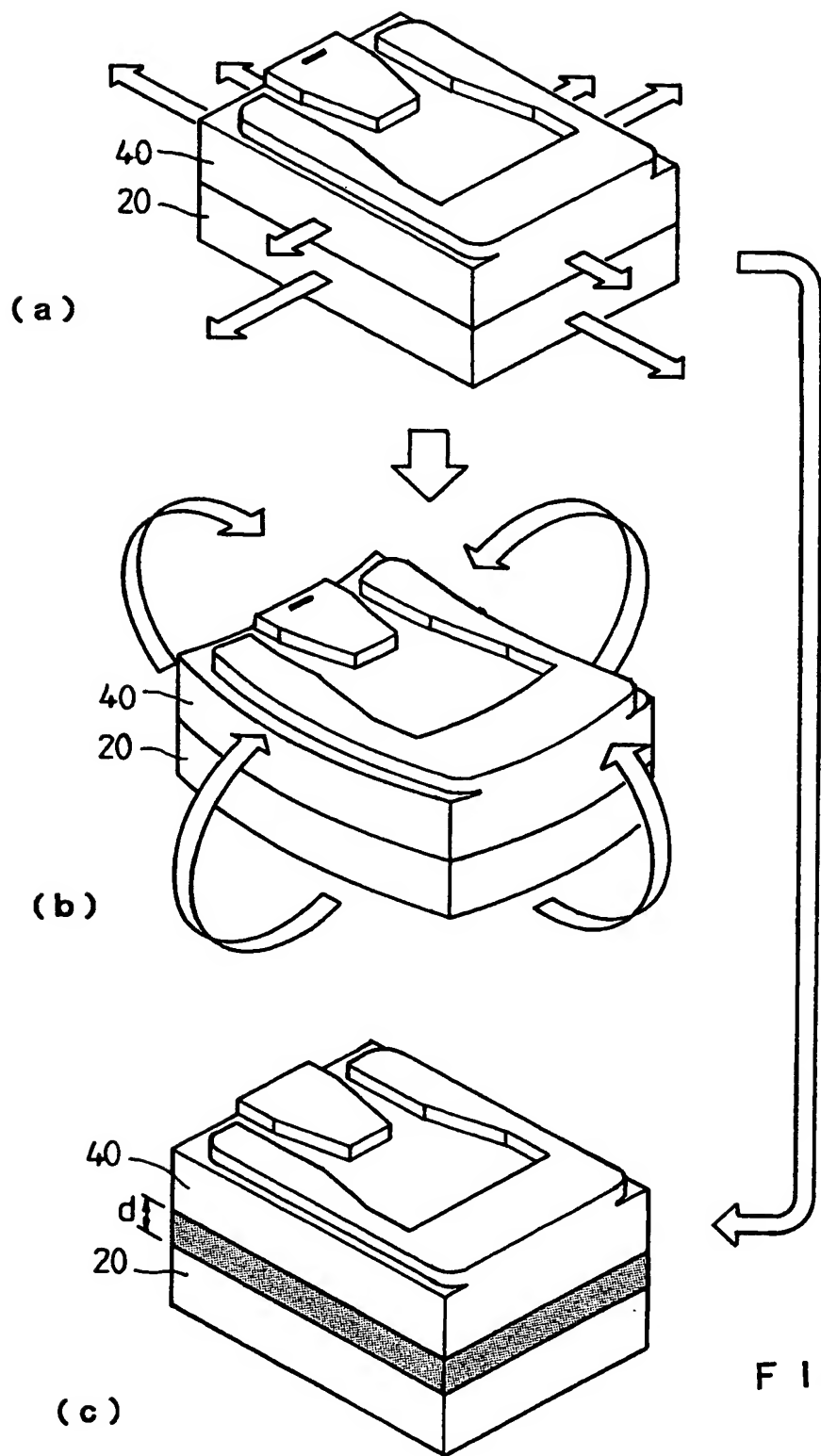


FIG. 6



6 / 12

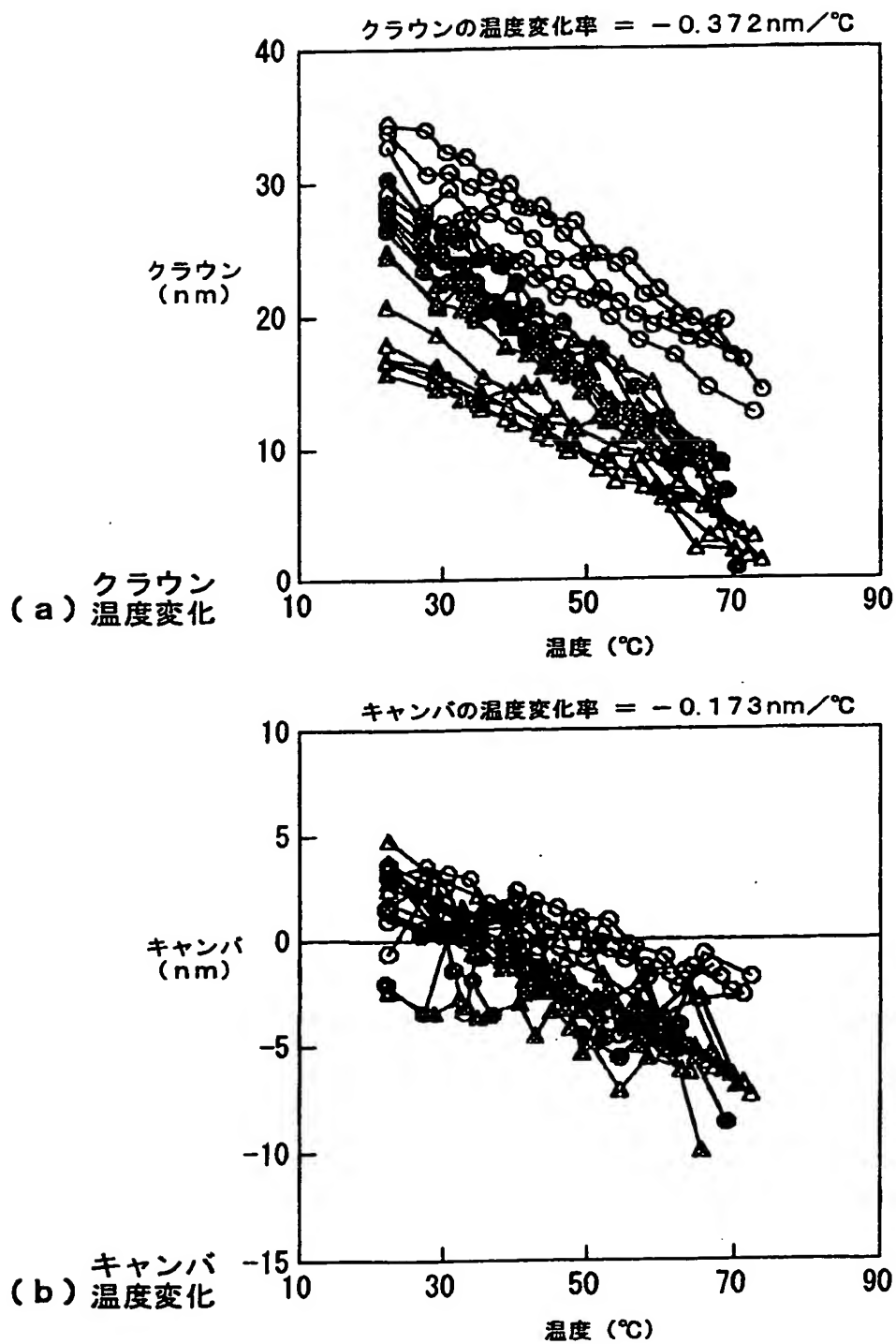


FIG. 8

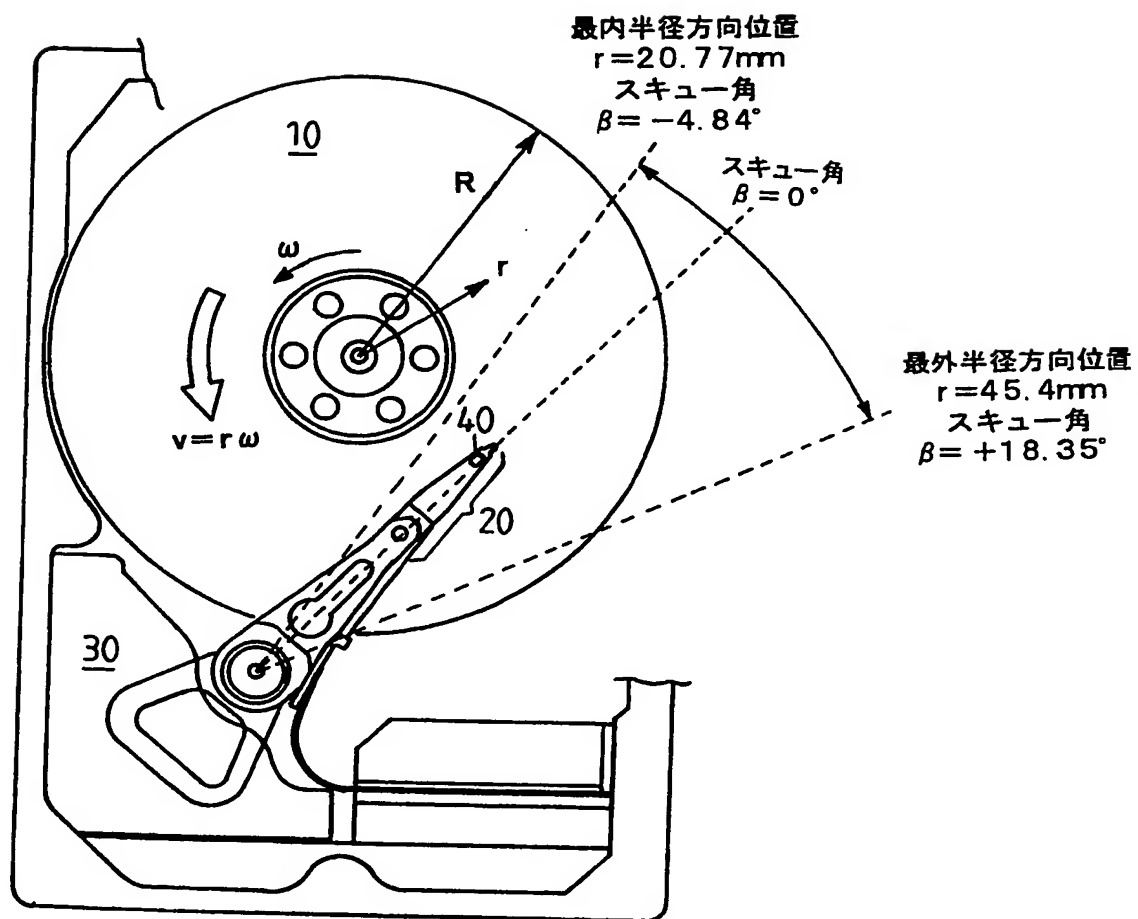


FIG. 9



8/12

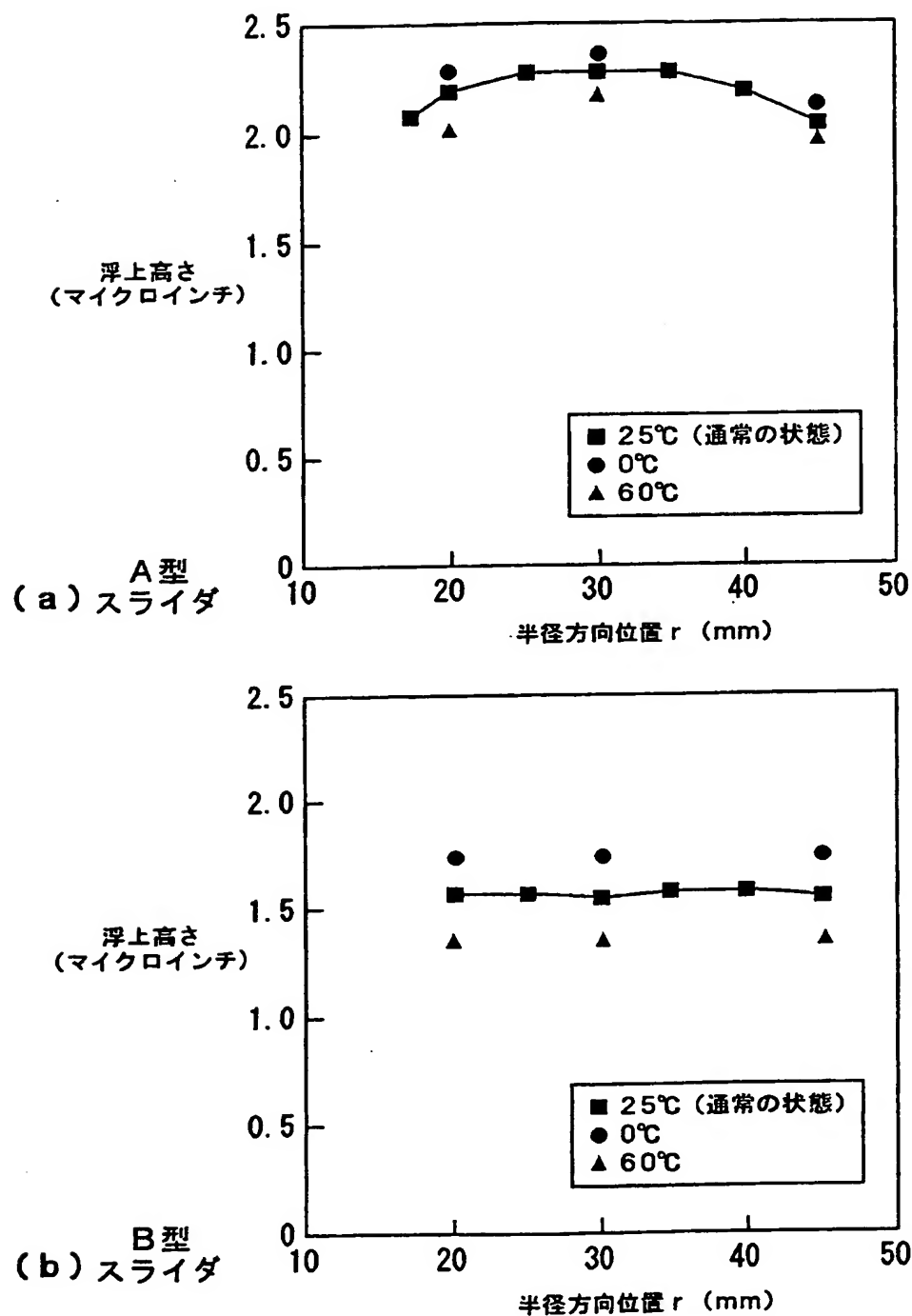


FIG. 10



10/12

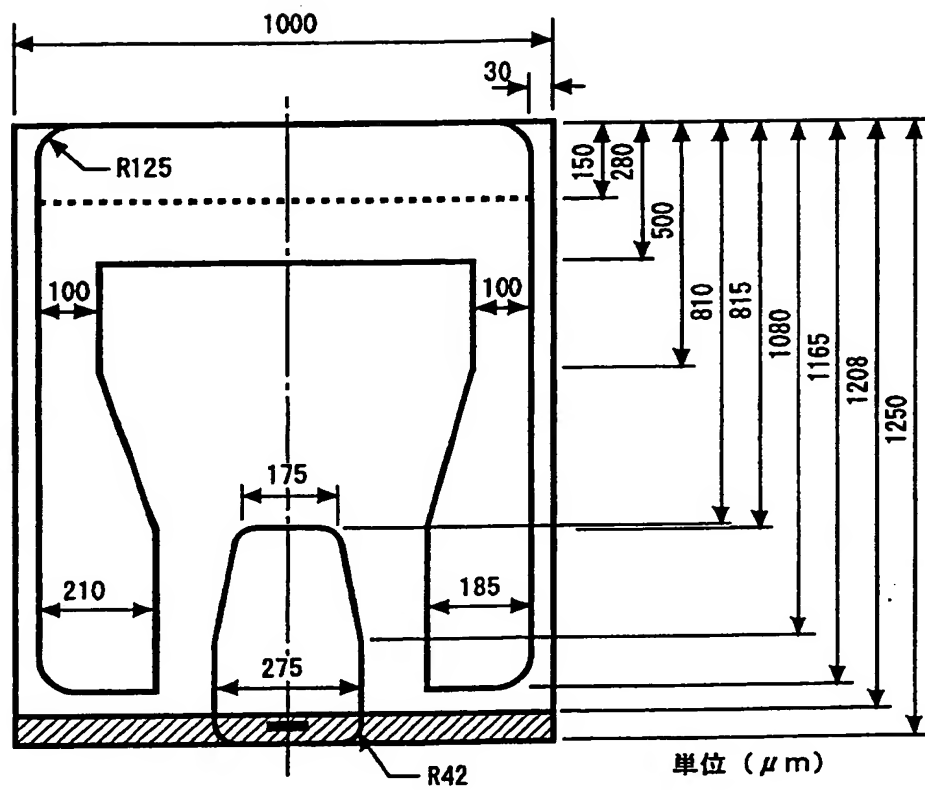


FIG. 12

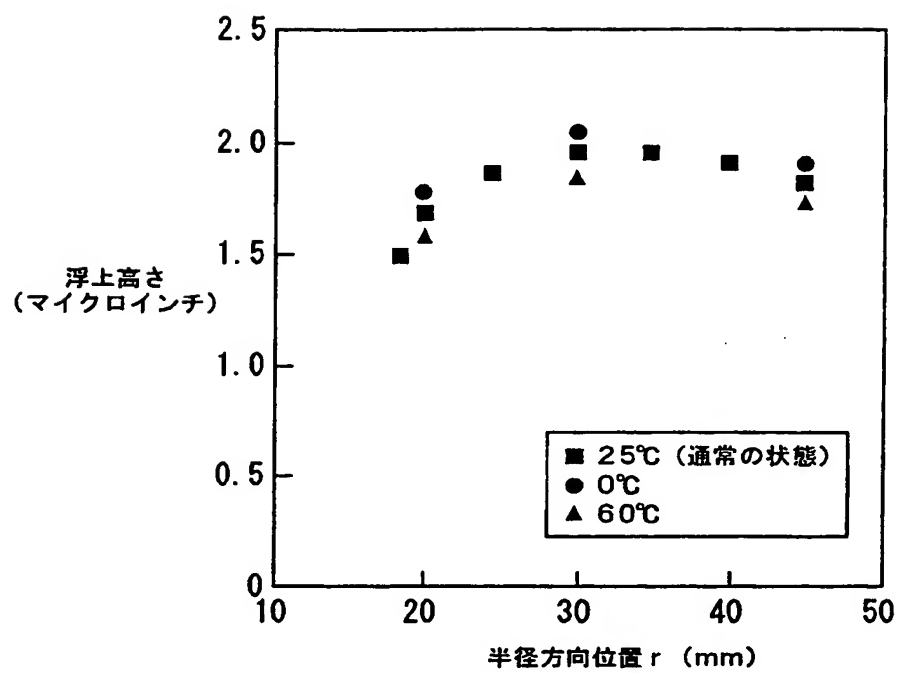


FIG. 13

12/12

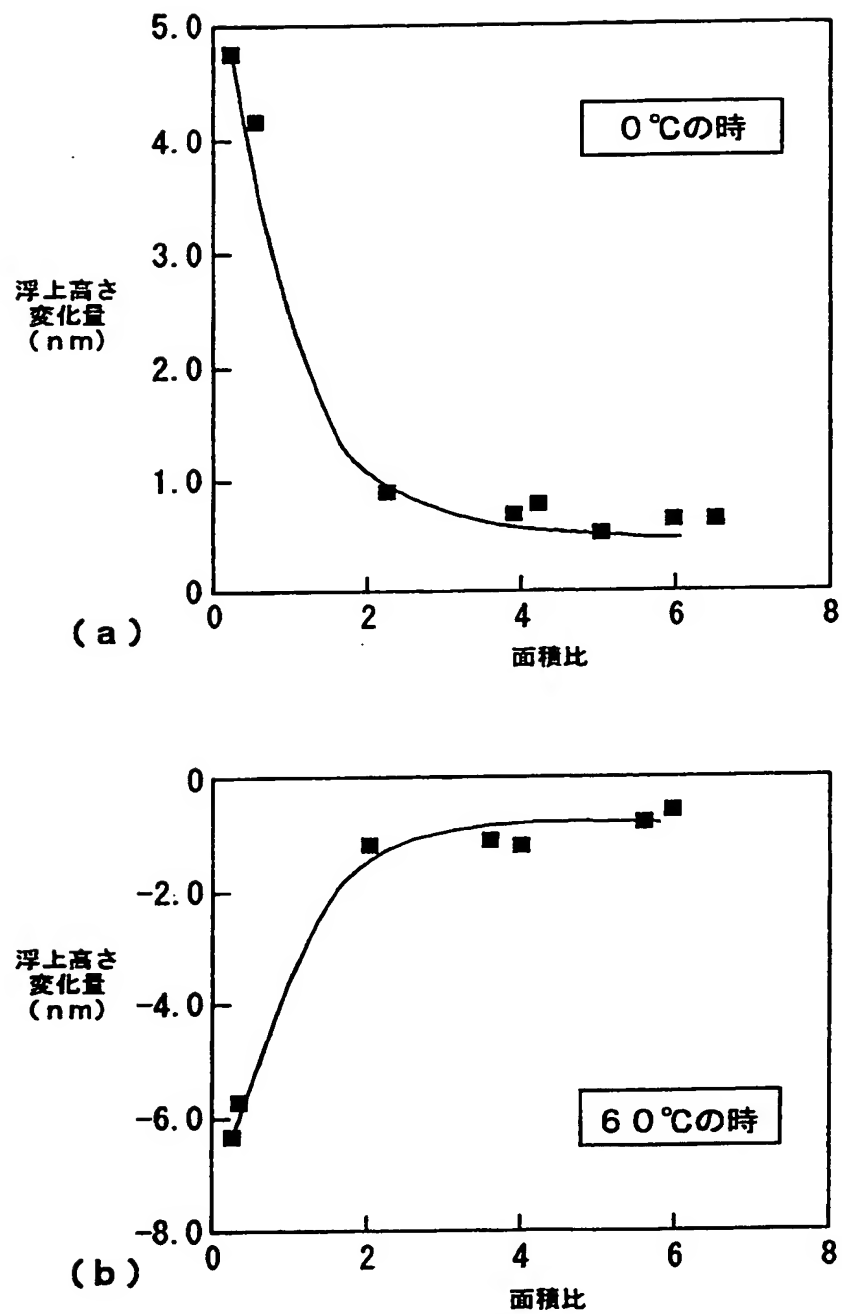


FIG. 14

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP98/01171A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>6</sup> G11B21/21, 101

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>6</sup> G11B21/21, 101, G11B5/60Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1965-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1996

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                       | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y         | JP, 8-203056, A (International Business Machines Corp.),<br>August 9, 1996 (09. 08. 96) (EP, 710957, A1) | 1, 2                  |
| A         | JP, 8-106749, A (Fujitsu Ltd.),<br>April 23, 1996 (23. 04. 96) (Family: none)                            | 1, 2                  |
| Y         | JP, 9-115259, A (Seagate Technology, Inc.),<br>May 2, 1997 (02. 05. 97) (EP, 747890, A1)                 | 3-9                   |
| Y         | JP, 6-76518, A (Sanyo Electric Co., Ltd.),<br>March 18, 1994 (18. 03. 94) (Family: none)                 | 3-9                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

|   |  |
|---|--|
| * Special categories of cited documents:  | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone   |
| "E" earlier document but published on or after the international filing date  | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family  |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  |  |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed  |  |

Date of the actual completion of the international search  
June 16, 1998 (16. 06. 98)Date of mailing of the international search report  
June 30, 1998 (30. 06. 98)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl<sup>6</sup> G11B21/21, 101

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl<sup>6</sup> G11B21/21, 101, G11B5/60

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1965-1996  
 日本国公開実用新案公報 1971-1996  
 日本国登録実用新案公報 1994-1998

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|--|------------------|
| Y               | JP, 8-203056, A (インターナショナル・ビジネス・マシーンス・コーポレーション)<br>9. 8月. 1996 (09. 08. 96) (EP, 710957, A1) | 1, 2             |
| A               | JP, 8-106749, A (富士通株式会社)<br>23. 4月. 1996 (23. 04. 96) (ファミリーなし)                             | 1, 2             |
| Y               | JP, 9-115259, A (シーゲート テクノロジー, インコーポレイテッド)<br>2. 5月. 1997 (02. 05. 97) (EP, 747890, A1)      | 3-9              |
| Y               | JP, 6-76518, A (三洋電機株式会社)<br>18. 3月. 1994 (18. 03. 94) (ファミリーなし)                             | 3-9              |

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 06. 98

国際調査報告の発送日

30.06.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

竹中 辰利



5D

9197

電話番号 03-3581-1101 内線 6929

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**